

Utilização de fíler cerâmico e sílica ativa na composição de argamassa com baixo teor de cimento

The use of ceramic filler and active silica with low cement content mortar

DOI:10.34117/bjdv5n7-160

Recebimento dos originais: 10/06/2019

Aceitação para publicação: 19/07/2019

Marco Antonio Campos

Doutor em Engenharia Civil

Pesquisador Colaborador Laboratório de Empreendimentos - Labore-FEC-UNICAMP
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Endereço: Rua Saturnino de Brito, nº 224, Cidade Universitária Zeferino Vaz. Campinas – SP – Brasil. CEP: 13083-889. Caixa Postal: 6143
engenheiromarcoantonio@hotmail.com

Luciano Passos

Mestre em Engenharia Civil

Laboratório de Estruturas - FEC-UNICAMP

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Endereço: Rua Saturnino de Brito, nº 224, Cidade Universitária Zeferino Vaz. Campinas – SP – Brasil. CEP: 13083-889. Caixa Postal: 6143
lupa@fec.unicamp.br

André Munhoz de Argollo Ferrão

Doutor em Arquitetura e Urbanismo

Professor Livre Docente - FEC-UNICAMP

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Endereço: Rua Saturnino de Brito, nº 224, Cidade Universitária Zeferino Vaz. Campinas – SP – Brasil. CEP: 13083-889. Caixa Postal: 6143
argollo@fec.unicamp.br

Armando Lopes Moreno Júnior

Doutor em Engenharia de Estruturas e Fundação

Professor Livre Docente - FEC-UNICAMP

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Endereço: Rua Saturnino de Brito, nº 224, Cidade Universitária Zeferino Vaz. Campinas – SP – Brasil. CEP: 13083-889. Caixa Postal: 6143
almoreno@fec.unicamp.br

RESUMO

Argamassas estão entre os materiais mais utilizados no mundo. Nas últimas décadas houve significativo incremento de sua resistência característica, resultado de pesquisas que buscaram atender as demandas da Indústria da Construção Civil, e como consequência, foi necessário

aumentar o consumo de cimento. A indústria cimenteira constitui uma das maiores fontes poluidoras do planeta, o que motiva a busca por argamassas com teores reduzidos de cimento, porém com características semelhantes de resistência e durabilidade. Assim, teores da ordem de 30% de cimento Portland têm sido substituídos por sílica ativa e fíler. Recomenda-se a utilização de fíler cerâmico por sua atividade pozzolânica e também por ser um material de qualidade sob controle. Neste trabalho apresentam-se as propriedades mecânicas e de resistência, em até um ano de idade, de argamassas com baixo teor de cimento adicionado de sílica ativa e fíler cerâmico proveniente de duas fontes diferentes: resíduos de cerâmica vermelha, telhas, e resíduos de isoladores elétricos de porcelana, moídos em granulometria similar ao cimento. Os resultados preliminares atestam a utilização da sílica ativa e do fíler cerâmico em substituição ao cimento Portland em argamassas, pois conferem resistência à compressão simples similar à referência, reduzindo assim o teor de cimento.

Palavras-Chave: Argamassa, Sílica ativa, Filler cerâmico, Isolador de porcelana, Cerâmica, sustentabilidade.

ABSTRACT

Mortars is the most used material in the world, and over recent decades, the need to increase its strength to withstand greater loads has gone hand in hand with greater cement consumption. Because the cement industry is one of the largest sources of pollution on the planet, there is now a demand for mortar with lower cement content, but with the same characteristics, strength, and durability. Thus, as much as 30% of Portland cement content has been replaced by active silica and filler. The use of ceramic filler is recommended due to its pozzolanic activity and controllable material qualities. This study therefore examined the mechanical properties and strength in the early years of low cement content mortar with added active silica and ceramic filler from two different sources: red ceramic waste (tiles), and porcelain electrical insulator waste, both ground down to a similar texture as cement. Preliminary results show that active silica and ceramic filler can be effectively used as a substitute for Portland cement in mortar, providing the resistance to simple compression reducing the need for cement.

Keywords: Mortar, Active silica, Ceramic filler, Porcelain insulator, Ceramic, Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A evolução da Indústria da Construção Civil permitiu a construção de edifícios cada vez mais altos, constituídos por estruturas e pavimentos mais resistentes, resultantes de processos mais enxutos, racionais e econômicos, resultando produtos mais duráveis e de melhor qualidade, protegidos por revestimentos e acabamentos específicos e adequados a cada contexto, para a diferenciação que confere identidade a cada empreendimento.

Sabe-se que os fatores que impactam diretamente a resistência da argamassa são os teores de cimento Portland e a relação água/cimento, seguido da granulometria e tipos de agregados. O aumento do teor de cimento pode resultar em argamassas mais resistentes,

entretanto, deve-se garantir que tais teores sejam suficientes para conferir resistência e durabilidade à estrutura.

O teor de cimento deve ser controlado em benefício da argamassa que se deseja obter. A indústria cimenteira é uma das maiores fontes poluidoras do mundo, o elevado consumo de cimento contribui negativamente para o agravamento dos problemas ambientais que o planeta vem sofrendo nos últimos anos, principalmente os que são atribuídos aos gases de efeito estufa.

Argamassas com alto teor de cimento contribuem para o aumento da poluição ambiental, pois a hidratação do cimento possui natureza exotérmica, isto é, libera grande quantidade de calor, e assim pode sofrer significativo aumento de volume, seguido do resfriamento e retração (fissuras). As argamassas, assim como o concreto, apresentam baixa resistência à tração.

O surgimento de fissuras pode comprometer grandes superfícies revestidas com argamassa, prejudicando o efeito estético, podendo comprometer também a alvenaria ou a estrutura do edifício, abrindo caminhos para a infiltração de umidade, por exemplo. De fato, as fissuras podem ser o caminho preferencial a ser percorrido pela penetração de ar, água e agentes agressivos, comprometendo não apenas o revestimento de argamassa mas toda a estrutura do edifício (REBMANN, 2011).

A utilização de sílica ativa ou outro material com elevada atividade pozolânica em substituição parcial ao cimento Portland em argamassas para revestimento de superfícies ou assentamento de alvenaria tem se apresentado como boa alternativa para a redução do teor de cimento. Resultados obtidos em diversas pesquisas no Brasil e no exterior, sempre comparáveis aos padrões de qualidade, trabalhabilidade, resistência e durabilidade de argamassas convencionais respaldam o interesse por tais pesquisas.

A sílica ativa é um resíduo da produção de silício ou ligas de ferro-silício, com o SiO_2 , expelido na forma de fumaça, se condensando em finas partículas esféricas altamente reativas, acelerando a reação com o Ca(OH)_2 . Por possuir grãos muito finos pode preencher o espaço entre os grãos de cimento, melhorando o empacotamento e consequente resistência (NEVILLE, 2013). Com todos estes pontos a sílica ativa é um material altamente pozolânico, mas de difícil manuseio, pois aumenta a necessidade de água em concretos e argamassas, que pode ser contornada com a adição de aditivos redutores de água (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O fíler pode ser obtido a partir de materiais de origem natural ou materiais processados inorgânicos, sendo finamente moído e passível de incorporação em concretos e argamassas, melhorando as propriedades de trabalhabilidade, massa específica, permeabilidade, exsudação capilar e tendência à fissuração (MEHTA; MONTEIRO, 2008). No Brasil, o fíler pode ser utilizado na composição de cimentos Portland compostos até o limite de 10% (DAL MOLIN, 2005). Assim como a sílica ativa, o fíler também contribui para o aumento do teor de água na argamassa, afetando negativamente sua resistência ao intemperismo ou à proteção a alvenarias, forros e estruturas de concreto. De natureza inerte, o fíler não causa diminuição da resistência do concreto a longo prazo (NEVILLE, 2013).

Apesar destes pontos negativos em relação a utilização de sílica ativa e fílers, seu uso vem crescendo no Brasil, sendo uma importante alternativa para o reaproveitamento de resíduos. Os fatores deletérios tendem a ser contornados com o avanço nas pesquisas, estudos de traço, incorporação de aditivos e melhores práticas nos canteiros de obras.

O objetivo geral deste trabalho foi estudar a diminuição da quantidade de cimento Portland em argamassas, substituindo-o por uma combinação de sílica ativa e fíler cerâmico, comparando-as a um traço referência e em conformidade com as normas brasileiras. A quantidade de cimento foi fixada em 70%, com 10% de sílica ativa e 20% de fíler.

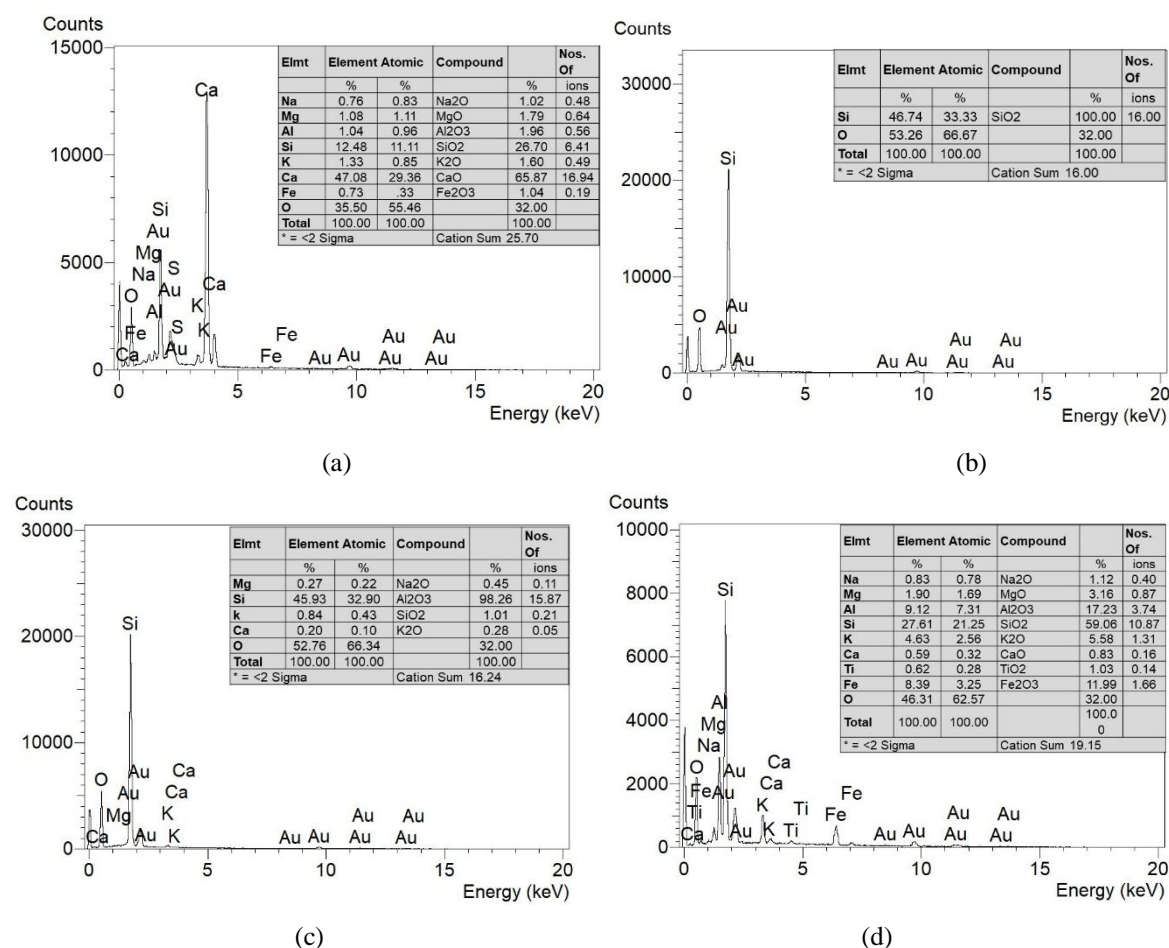
Dois foram os tipos de fílers cerâmicos utilizados, um resultante da moagem de isoladores elétricos de porcelana, conforme Campos 2018, e outro de resíduos da indústria de telhas cerâmicas, ambos moídos em granulometria similar ao cimento. A escolha destes decorreu do fato de serem produzidos com matérias-primas similares a do cimento Portland, seu processo de produção envolver a queima em altas temperaturas o que pode conferir atividade pozolânica, ser um resíduo com controle de procedência e não possuir material contaminante ou de outra natureza.

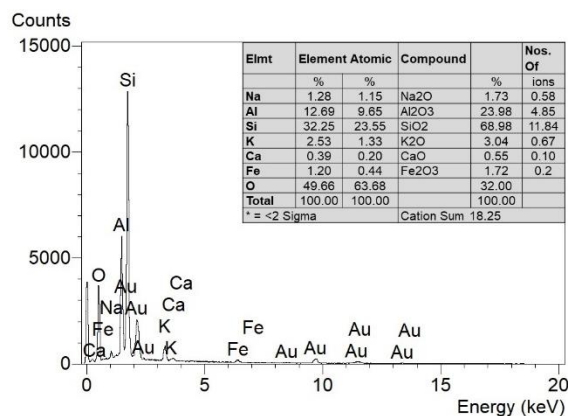
Definidos os teores de sílica e fíler os traços de argamassas foram ensaiados a resistência à compressão simples nas idades de 7, 28, 91, 180 e 365 dias, comparando seus resultados a um traço de referência, isto é, com 100% de cimento. Observou-se que o aumento da idade resulta em maiores ganhos de resistência para as argamassas alternativas permitindo sua utilização e comprovando a eficácia da substituição de 30% do cimento Portland por 10% de sílica ativa e 20% de fílers cerâmicos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados neste trabalho foram caracterizados inicialmente em relação a sua composição através dos ensaios de MEV/EDS: cimento Portland CPV-ARI – Alta Resistência Inicial, Figura 1 (a); Agregado miúdo comum, areia média, Figura 1 (b); Sílica ativa, da marca TecnoSil, Figura 1 (c); Fíler de cerâmica vermelha, telha cerâmica moída, Figura 1 (d); Fíler de cerâmica branca, isolador elétrico de porcelana moído, Figura 1 (e).

Figura 1. EDS Cimento Portland CPV-ARI (a), Areia (b), Sílica ativa (c), Fíler cerâmica vermelha (d), Fíler porcelana (e).





(e)

Fonte: Elaboração dos Autores, 2019.

O agregado miúdo, a sílica ativa e os fílers cerâmicos possuem grande quantidade do composto silício (Si) que combinado ao oxigênio resulta no dióxido de silício, sílica (SiO_2) que é de extrema importância para hidratação do cimento e consequente aumento de resistência, quando em conjunto com o CaO, presente no cimento, na formação do composto C-S-H.

A caracterização física do cimento, fornecida pelo fabricante, é apresentada na Tabela 1. Por ser cimento Portland do tipo CPV-ARI – Alta Resistencia Inicial, possui elevada finura Blaine e a resistência aos 7 dias de idade foi o equivalente a 87,5% da resistência final aos 28 dias.

Tabela 1. Caracterização física do cimento.

Análise Física - Cimento Portland		Fabricante
Tipo de cimento		Cimento CPV – ARI Estrutura
Fabricante		InterCement - Cauê
Finura Blaine (cm^2/g) – NBR 16372 (2015)		4.731
Relação água/cimento (%)		30,0
Tempo Pega (min) – NBR 16607 (2018)	Início	233
	Fim	300
Resistência à Compressão (MPa) – NBR 7215 (1996)	1 dia	20,8
	3 dias	36,9
	7 dias	41,8
	28 dias	47,8

Fonte: Elaboração dos Autores, 2019.

Em relação a sílica ativa a caracterização, também fornecida pelo fabricante, TecnoSil, mostrou que os parâmetros estão de acordo com os limites estabelecidos por normas, conforme a Tabela 2. O agregado miúdo, areia média têm suas propriedades e características apresentadas na Tabela 3.

Tabela 2. Propriedades da sílica ativa.

Características	Valor	Unidade de Medida	Limite Inferior	Limite Superior
Equivalente alcalino em Na ₂ O	0,9	%	-	-
% SiO ₂	95	%	85	-
Umidade	0,3	%	-	3,0
Perda ao fogo	1,5	%	-	6,0
% Retido 45 µm (325 mesh)	2,1	%	-	10,0
Densidade	0,57	g/cm ³	0,20	1,00
pH	8,1	%	-	-
Na ₂ O	0,1	%	-	-
Fe ₂ O ₃	0,1	%	-	-
CaO	0,6	%	-	-
Al ₂ O ₃	0,3	%	-	-
MgO	0,4	%	-	-
K ₂ O	0,1	%	-	-

Fonte: Elaboração dos Autores, 2019.

Tabela 3. Propriedades agregado miúdo.

Ensaio	Agregado miúdo - Areia média
Composição Mineralógica	Inócuos: quartzo, minerais máficos
	Friáveis: fragmentos de rocha alterada
Grau de Esfericidade	Alta
Grau de Arredondamento	Subarredondado
Superfície do Grão	Fosco
Módulo de Finura	2,7
Dimensão Máxima (mm) – NBR 7211 (2009)	1,2
Massa Específica (g/cm³) – NBR NM 52 (2009) e NBR NM 53 (2009)	2,60
Massa Unitária (g/cm³) - NBR NM 45 (2006)	1,48
Absorção de Água (%) - NBR NM 30 (2001) e NBR NM 53 (2009)	0,19
Torrões de Argila e Materiais Friáveis (%) - NBR 7218 (2010)	0
Teor de Material Passante na Peneira 75 µm (%) - NBR NM 46 (2003)	2,85

Fonte: Elaboração dos Autores, 2019.

A partir destes dados e de acordo com o traço de argamassa apresentado na NBR 7215 (1996), denominado traço referência, foi possível determinar o teor máximo de utilização do cimento Portland, que foi fixado em 70%. Os outros 30% de materiais aglomerantes foi determinado em 10% para sílica ativa e 20% para fíler cerâmico, ambos teores substituídos em massa.

A utilização do fíler cerâmico, 20%, foi dividida em três traços, um contendo 20% de fíler cerâmico de telhas cerâmicas, outro com 20% de fíler de isoladores elétricos de porcelana e para o terceiro traço com fíler foi combinado o teor de substituição de 10% por fíler de telhas cerâmicas e o 10% de fíler de isoladores de porcelana.

A relação água-cimento foi fixada em 0:55 para todos os traços. A Tabela 4 ilustra as quantidades de materiais necessárias para moldar quatro corpos-de-prova de argamassa cilíndricos de 5,0 x 10,0 cm. Todo o processo de moldagem foi realizado em atendimento a NBR 7215 (1996). Já o processo de cura foi do tipo submersa, isto é, os corpos-de-prova, após a desmoldagem, foram mantidos submersos em água até 24 horas antes de sua ruptura.

Tabela 4. Quantidade de materiais em gramas para os traços de argamassa.

Traço	Cimento Portland	Sílica Ativa	Fíler cerâmica	Fíler de porcelana	Agregado miúdo	Água
Referência	624,00	-	-	-	1.872,00	343,20
Fíler Cerâmica	436,80	62,40	124,80	-	1.872,00	343,20
Fíler Porcelana	436,80	62,40	-	127,80	1.872,00	343,20
Mix Fíler	436,80	62,40	62,40	62,40	1.872,00	343,20

Fonte: Elaboração dos Autores, 2019.

Definidos estes traços foi realizado o ensaio de caracterização das misturas de sílica e fíler comparando-as a referência (100% de cimento), isto é, foram ensaiados os teores combinados de sílica ativa (10%) e fíler de cerâmica (20%); sílica ativa (10%) e fíler de porcelana (20%); e a combinação de 10% em teor do fíler de cerâmica e de 10% de fíler de porcelana com 10% de sílica ativa. Para as misturas o teor em massa do cimento foi de 70%.

Estes ensaios de caracterização foram em relação massa específica, NBR 16605 (2017), finura por meio da peneira 75 µm, NBR 11579 (2012) e determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Blaine) NBR 16372 (2015). Todos estes resultados são apresentados na Tabela 5, onde tem-se uma similaridade entre os resultados, apenas o teor de material passante na peneira 75 µm foi maior para as misturas, mas isso já era esperado pois

tanto a sílica ativa como os tipos de fíler possuem um grau de moagem superior ao cimento Portland.

Tabela 5. Caracterização misturas sílica e fíler.

Caracterização	Cimento Portland CPV - ARI	Sílica e Fíler Porcelana	Sílica e Fíler Cerâmico	Mix Fíler
Finura Blaine (cm ² /kg) – NBR 16372 (2015)	4.306	4.488	4.061	4.213
Massa Específica (g/cm ³) – NBR 16605 (2017)	3,11	2,84	3,01	2,93
Finura Peneira 75 µm (%) – NBR 11579 (2012)	0,4	16,8	22,4	19,2

Fonte: Elaboração dos Autores, 2019.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

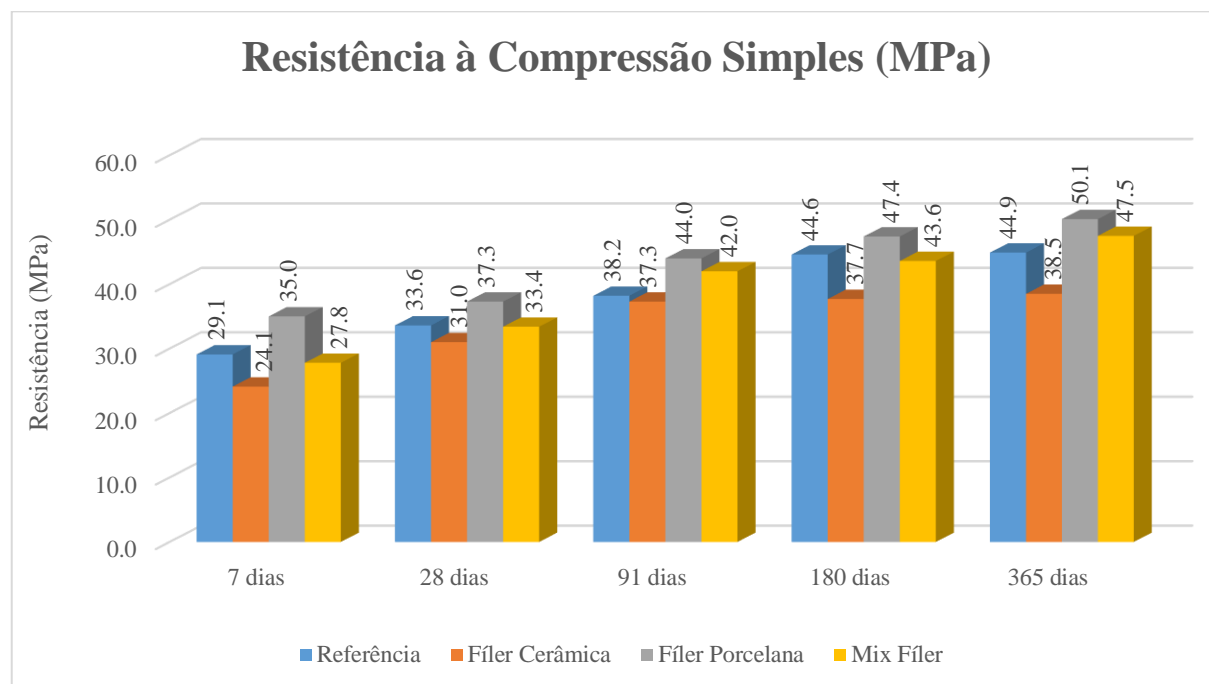
Os traços de argamassa foram ensaiados à resistência à compressão simples nas idades de 7, 28, 91, 180 e 365 dias, conforme a NBR 7215 (1996). A Tabela 6 apresenta os valores médios de cada traço acompanhado da evolução da resistência para as idades de 28, 91, 180 e 365 dias, adotando como valor inicial de comparação a idade de 7 dias. Na Figura 2 tem-se a representação em gráfico dos valores médios destas resistências.

Tabela 6. Evolução resistência à compressão simples.

Evolução Resistência à Compressão Simples (MPa)									
Traços	7 dias	28 dias	Evolução (%)	91 dias	Evolução (%)	180 dias	Evolução (%)	365 dias	Evolução (%)
Referência	29,1	33,6	15,5	38,2	31,3	44,6	53,3	44,9	54,3
Fíler Cerâmica	24,1	31,0	28,6	37,3	54,7	37,7	56,4	38,5	59,7
Fíler Porcelana	35,0	37,3	6,6	44,0	25,7	47,4	35,4	50,1	43,1
Mix Fíler	27,8	33,4	20,1	42,0	51,1	43,6	56,8	47,5	70,9

Fonte: Elaboração dos Autores, 2019.

Figura 2. Resistência à compressão simples.



Fonte: Elaboração dos Autores, 2019.

Para a idade de 7 dias o traço com fíler de isolador de porcelana apresentou maior resistência entre todos os traços, com a carga de ruptura maior que o traço referência, com cerca de 20%. Já as argamassas com a fíler cerâmico e o mix de fílers, os resultados foram inferiores à 17% e 4%, respectivamente.

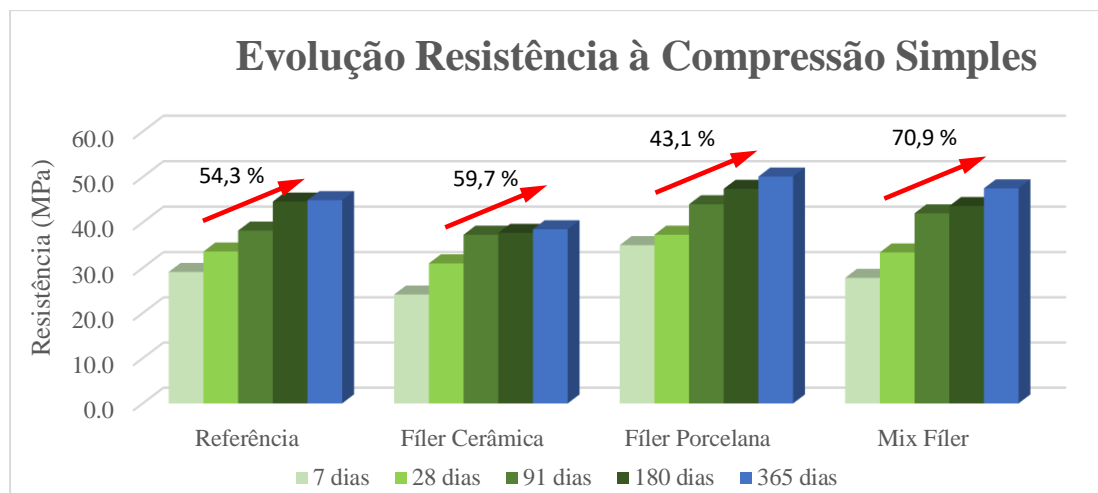
Já para a idade de 28 dias as diferenças nas resistências à compressão simples foram mais próximas entre si. Novamente, o traço com fíler de porcelana obteve aumento de resistência de 11%, e para a argamassa com o mix de fíler cerâmico o valor similar a referência, e novamente o traço com fíler cerâmico o valor médio foi 7% inferior à referência.

Aos 91 dias de idade o traço com fíler de porcelana atingiu a maior resistência, 15% superior em relação a referência. Para a argamassa com o mix de fíler cerâmico a resistência foi 10% superior a referência e para o traço com fíler cerâmico o valor foi ligeiramente inferior, 2% quando comparado a referência.

Repetindo as análises das idades anteriores, aos 180 dias, a argamassa com fíler de porcelana apresentou a maior resistência, 6% superior a referência. Entretanto, os demais traços apresentaram resistência inferior a referência, da ordem de 5% para o mix de fíler cerâmico e 16% para o fíler cerâmico.

Na idade final de ensaio, 365 dias, os resultados mantiveram a mesma tendência, com o traço de fíler de porcelana apresentado resistência 12% maior que o traço referência. Na argamassa com mix de fílers o aumento na resistência foi de 6%. Apenas o traço com fíler de cerâmica vermelha apresentou resistência 14% inferior à referência.

Figura 3 – Evolução resistência à compressão simples.



Fonte: Elaboração dos Autores, 2019.

Este maior ganho de resistência para as argamassas com sílica ativa e fíler cerâmico é atribuído a uma lenta hidratação destes compostos frente ao cimento comum. A Figura 3 apresenta a evolução da resistência à compressão simples de cada traço, comparando as idades de 7, 28, 91, 180 e 365 dias, sendo a inicial, 7 dias, o valor básico de comparação entre os traços.

Ao analisar a evolução da resistência à compressão simples de cada traço de argamassa em separado, isto é, comparando o valor inicial aos 7 dias de idade a idade final de 365 dias, observa-se que o traço com fíler de isolador de porcelana apresentou a menor evolução, de 43,1%, destacada principalmente pela rápida atividade pozolânica deste tipo de cerâmica.

Para o traço referência a evolução da resistência entre as idades de 7 e 365 dias foi 54,3%. Evolução similar foi observada para a argamassa com fíler de cerâmica vermelha, 59,7%. A maior evolução foi observada para o traço com o mix de fílers, 70,9%, ao comparar a idade inicial dos ensaios de resistência à compressão simples, 7 dias, com a idade final, 365 dias. Considera-se como elevada esta evolução para todos os traços de argamassa pelo fato de todas utilizarem cimento do tipo CPV-ARI (alta resistência inicial).

Estes aumentos de resistência podem ser explicados pela atividade pozolânica tardia, atribuídos ao tipo de cura, submersa, assim a água da cura contribui para aumento do índice de atividade pozolânica resultante da combinação da sílica ativa, cimento e fíler cerâmico.

Portanto, observa-se, através dos resultados dos ensaios de resistência à compressão simples, que há possibilidade de substituição de 30% do cimento Portland em argamassas pela mistura combinada de 10% de sílica ativa e 20% de fíler de fonte cerâmica, já que até o momento estes materiais cerâmicos não possuem uma metodologia difundida nacionalmente que permita seu uso.

A incorporação destes resíduos cerâmicos em argamassas é uma alternativa passível de utilização na construção civil, contribuindo com isso na redução do descarte destes resíduos cerâmicos e conferindo ganhos ambientais, com sua destinação correta, e econômicos ao setor produtivo destes materiais.

4 CONCLUSÕES

O setor cerâmico possui um parque fabril espalhado por todo o Brasil, mas com concentração regional de produtos ocasionando problemas quanto ao descarte e reaproveitamento de seus resíduos.

O processo de moagem a que os resíduos cerâmicos são submetidos para a sua reutilização na construção civil permite, de início, obter um material alternativo, que quando finamente moído, pode ser incorporado em argamassas, atuando como fíler pozolânico, pois seu processo de produção envolve a queima em altas temperaturas e suas matérias-primas são similares as do cimento Portland. O controle da granulometria dos diferentes tipos de fíler deve ter seu uso alinhado a incorporação em conjunto com a sílica ativa, outro material com propriedade pozolânica.

A incorporação destes fílers em argamassas com baixo teor de cimento mostrou ser benéfica, pois aos 7 dias de idade os traços com fíler atingiram valores de resistência à compressão simples similares aos traços de referência, resistências estas que aumentaram nas idades mais avançadas, 28, 91, 180 e 365 dias.

Portanto, a metodologia apresentada neste trabalho constitui um legado para pesquisas futuras visando a utilização de resíduos de isoladores elétricos de porcelana e telhas cerâmicas em argamassas. Estes dois tipos de resíduos cerâmicos devem ser considerados, assim outros materiais alternativos, como viáveis para reduzir o teor de cimento Portland nas argamassas,

beneficiando não apenas o setor da construção civil, mas toda a cadeia produtiva, oferecendo um destino útil a resíduos antes descartados, promovendo uma redução significativa da poluição que a indústria cimenteira imprime ao ambiente. A reutilização de materiais descartados pela indústria também reduz a necessidade de extração de materiais da natureza e seu beneficiamento industrial.

Propõem-se, também como alternativa a esta utilização, estudos com estes teores de substituição ao cimento em concretos e seus subprodutos, completando assim o ciclo de reaproveitamento destes materiais descartados, que até o momento não tem uma metodologia difundida de reutilização.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as empresas “TecnosilBr” pela doação da Sílica Ativa, e “Cerâmica Santa Terezinha” pela doação dos isoladores elétricos de porcelana moídos; agradecem também ao “Laboratório de Estruturas da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas” pela realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7211 – Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 7215 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. NBR 7218 – Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 11579 - Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 16372 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine). Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 16605 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

_____. NBR 16607 - Cimento Portland — Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro, 2018.

_____. NBR NM 30 – Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR NM 46 - Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR NM 52 - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR NM 53 - Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

CAMPOS, M. A. Isoladores elétricos de porcelana na construção civil: Propriedades, pesquisa e aplicação. Riga – Letônia, Novas Edições Acadêmicas, 2018.

DAL MOLIN, D. C. C. Adições minerais para concreto estrutural, In: ISAIA, G. C. Concreto Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo, IBRACON, 2005.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo, IBRACON, 2008.

NEVILLE, A. M.; Brooks, J. J. Tecnologia do Concreto. Porto Alegre, Bookman, 2013.

REBMANN, M. S., 2011. Durabilidade de concretos estruturais com baixo consumo de cimento Portland e alta resistência. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011.